

## Релаксация флексоэлектрического отклика в монокристаллах $\text{SrTiO}_3$ и $\text{KTaO}_3$

В.Г. Залесский, Е.Д. Обозова, А.Д. Полушина, П.П. Сырников

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021 Санкт-Петербург, Россия  
nsh@mail.ioffe.ru*

Электромеханический эффект, при котором устанавливается взаимная связь между поляризацией и градиентом деформации получил название флексоэлектрического эффекта [1]. Эффект становится значительным в объектах микро- и наноскопического масштаба (тонкие пластины, пленки и т.д.), поэтому исследования в этой области вызывают интерес как в теоретическом, так и в прикладном аспекте. Для описания связи между поляризацией и градиентом деформацией используют флексоэлектрические коэффициенты, тензоры четвертого ранга, теоретические оценки и экспериментальное измерение которых является одной из главных задач при изучении явления [1]. Для многих известных активных диэлектриков были проведены расчеты тензоров и, в большинстве случаев, между рассчитанными и измеренными величинами наблюдается расхождение вплоть до нескольких порядков [2]. Кроме того, значительное расхождение существует и в экспериментально измеренных тензорах. Причина такого расхождения может быть обусловлена наличием релаксационных и гистерезисных явлений, например, за счет транспорта и перераспределения носителей заряда (электронов, ионов или кислородных вакансий) в объеме кристалла [3], а также за счет механической пластичности кристаллов.

В работе представлены результаты исследования прямого и обратного флексоэлектрического эффекта в тонких монокристаллических пластинках сегнетоэлектриков в кубической фазе  $\text{SrTiO}_3$  и  $\text{KTaO}_3$  (ST и KT). Эксперимент проводился в следующих условиях: 1. При измерении прямого эффекта использовалась деформация только сферического изгиба пластин, что упрощает сравнение полученных данных с результатами исследования деформации того же типа при обратном эффекте. 2. Измерялся отклик на воздействие статических или квазистатических механических и электрических полей в случае прямого и обратного эффекта, соответственно. В эксперименте по прямому эффекту использовались градиенты деформации  $0 - 0.2 \text{ м}^{-1}$ , а по обратному – однородные поля  $0 - 50 \text{ кВ/см}$  в тонких  $\sim 150 \text{ мкм}$  пластинках ST и KT.

В результате получены характерные времена релаксации: 1) Релаксация механического напряжения за счет пластичности образцов:  $\tau \sim 1.3$  и  $12 \text{ с}$  (ST),  $\tau \sim 8$  и  $20 \text{ с}$  (KT). 2) Релаксация флексоэлектрического отклика (индуцированной поляризации) при прямом эффекте:  $\tau \sim 0.06$  и  $1 \text{ с}$  (ST),  $\tau \sim 0.9$  и  $1.7 \text{ с}$  (KT). 3) Релаксация флексоэлектрического отклика (индуцированной деформации) при обратном эффекте:  $\tau \sim 5, 9 \text{ с}$  (ST),  $\tau \sim 1.8$  и  $2.4 \text{ с}$  (KT). Кроме того, для случая 2 получена температурная зависимость времени релаксации в интервале температур  $150-200 \text{ К}$ , по которой для коротких по времени релаксационных процессов получена энергия активации порядка  $30-50 \text{ мэВ}$ . Анализ полученных результатов позволил предположить о дополнительном вкладе во флексоэлектрический отклик релаксационных процессов за счет движения свободных электронов и захватом их кислородными вакансиями. По полученным данным произведены оценки эффективных поперечных флексоэлектрических тензоров для стационарного прямого и обратного эффекта соответственно:  $\tilde{\mu}_{12} = 4.3$  и  $4.6 \text{ мкКл/м}$  (ST),  $\tilde{\mu}_{12} = 18$  и  $12 \text{ мкКл/м}$ .

1. A.K. Tagantsev, P.V. Yudin, *Flexoelectricity in solids* (Singapore: World Scientific Publishing Co.) (2017).
2. P. Zubko, G. Catalan, A. Tagantsev, *Annu. Rev. Mater. Res.* **43**, 387 (2013).
3. A.N. Morozovska, E.A. Eliseev, G.S. Svechnikov, and S.V. Kalinin, *Phys. Rev. B* **84**, 045402 (2011).